

ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА 24.1.129.01, СОЗДАННОГО  
НА БАЗЕ ФЕДЕРАЛЬНОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО БЮДЖЕТНОГО  
УЧРЕЖДЕНИЯ НАУКИ ИНСТИТУТА ТЕПЛОФИЗИКИ ИМ. С.С. КУТАТЕЛАДЗЕ  
СИБИРСКОГО ОТДЕЛЕНИЯ РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК  
ПО ДИССЕРТАЦИИ НА СОИСКАНИЕ УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ КАНДИДАТА НАУК

аттестационное дело № \_\_\_\_\_  
решение диссертационного совета от 04.06.2025 № 4/2025

О присуждении Дубровину Кириллу Алексеевичу, гражданину Российской Федерации,  
учёной степени кандидата физико-математических наук

Диссертация «Влияние конденсации на структуру и послесвечение сверхзвуковой недорасширенной разреженной струи аргона» по специальности 1.3.14. Теплофизика и теоретическая теплотехника принята к защите 02.04.2025, протокол № 2-1/2025 диссертационным советом 24.1.129.01, созданным на базе Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института теплофизики им. С.С. Кутателадзе Сибирского отделения Российской академии наук (ИТ СО РАН) Министерства науки и высшего образования Российской Федерации, 630090, г. Новосибирск, проспект Академика Лаврентьева, 1, приказы Минобрнауки России от 11.04.2012 № 105/нк, от 03.06.2021 № 561/нк.

Соискатель Дубровин Кирилл Алексеевич, 26.05.1995 года рождения, на момент защиты диссертации работает в должности научного сотрудника в отделе прикладной физики Физического факультета Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Новосибирский национальный исследовательский государственный университет» (НГУ). В 2019 году соискатель окончил магистратуру НГУ по направлению 03.04.02 – Физика, в 2023 году окончил очную аспирантуру Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института теплофизики им. С.С. Кутателадзе Сибирского отделения Российской академии наук Министерства науки и высшего образования Российской Федерации по научной специальности 1.3.14. Теплофизика и теоретическая теплотехника.

Диссертация выполнена в отделе прикладной физики Физического факультета Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Новосибирский национальный исследовательский государственный университет». Научный руководитель – Зарвин Александр Евгеньевич, кандидат физико-математических наук, старший научный сотрудник, заведующий отделом прикладной физики Физического факультета Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Новосибирский национальный исследовательский государственный университет».

Официальные оппоненты:

Быков Николай Юрьевич – доктор физико-математических наук (01.02.05 – Механика жидкости, газа и плазмы), профессор, Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский политехнический государственный университет имени Петра Великого», профессор кафедры физики, главный научный сотрудник лаборатории «Вычислительная физика»;

Рудяк Валерий Яковлевич – доктор физико-математических наук (01.02.05 – Механика жидкости, газа и плазмы), профессор, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Новосибирский государственный архитектурно-строительный университет (Сибстрин)», профессор кафедры теоретической механики -

дали положительные отзывы на диссертацию Дубровина Кирилла Алексеевича.

Ведущая организация:

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский государственный университет» (СПбГУ), г. Санкт-Петербург, в своем положительном заключении, подписанном Лашковым Валерием Александровичем, доктором физико-математических наук, профессором Кафедры гидроаэромеханики СПбГУ; Шакуровой Лией Алимджановной, кандидатом физико-математических наук, ассистентом математико-механического факультета СПбГУ, указала, что «Полученные в Диссертации данные могут быть использованы при проведении лабораторных исследований работы ракетных двигателей в разреженном пространстве, при определении воздействия продуктов сгорания, истекающих из сопла, на поверхность космических аппаратов. Помимо этого, прикладные применения кластеров можно найти в таких отраслях как получение тонкопленочных покрытий с новыми свойствами, травление подложек, имплантация атомов на малые глубины, а также сверхгладкая полировка поверхностей твердых тел. Результаты исследований могут представлять интерес для академических научно-исследовательских институтов, могут найти применение в отраслевых институтах и специализированных конструкторских бюро при конструировании современных космических летательных аппаратов (Ракетно-космическая корпорация «Энергия» им. С.П. Королёва, Центральный научно-исследовательский институт машиностроения, Государственная корпорация по космической деятельности «Роскосмос» и др.).

Соискатель имеет более 50 опубликованных работ, в том числе по теме диссертации опубликовано 29 работ, из них в рецензируемых научных изданиях, рекомендованных ВАК, опубликовано 13 работ, общим объемом 153 страницы. В



диссертации недостоверных сведений об опубликованных соискателем ученой степени работах не содержится. Вклад автора состоял в постановке цели исследования, формулировке задач, разработке программы экспериментов, проведении измерений, обработке данных, анализе и интерпретации результатов, а также подготовке докладов для конференций и написании статей для публикации в высокорейтинговых журналах. Основные научные результаты, включенные в диссертационную работу и выносимые на защиту, получены соискателем лично или при его прямом участии.

Наиболее значимые научные работы по теме диссертации Дубровина Кирилла Алексеевича:

1. Дубровин К.А., Зарвин А.Е., Горбачев Ю.Е., Яскин А.С., Каляда В.В. Особенности процесса энергообмена в кластированном потоке аргона при инициации излучения электронным пучком // Физико-химическая кинетика в газовой динамике. – 2022. – Т.23. – №.4. – С.1–17.
2. Дубровин К.А., Зарвин А.Е., Каляда В.В., Яскин А.С. К модели метрирования сверхзвуковых недорасширенных газовых струй в условиях конденсации // Теплофизика и аэромеханика. – 2023. – Т.2. - №.2. – С.227–37.
3. Dubrovin K.A., Zarvin A.E., Kalyada V.V., Yaskin A.S., Dering E.D. Application of electron beam diagnostics for the study of rarefied clustered gas flows // Vacuum. – 2023. – V.218. – P.112652.
4. Dubrovin K.A., Yarkov L.V., Zarvin A.E., Zaitsev A.V., et al. Numerical and Experimental Simulation of Supersonic Gas Outflow into a Low-Density Medium // Aerospace. – 2024. – V.11. – №.11. – P.905.

На автореферат диссертации поступило 7 отзывов. Все отзывы положительные. В отзывах отмечено, что исследование является законченным и выполнено на высоком научном уровне, тема работы является актуальной, полученные результаты обладают научной новизной и способствуют пониманию газодинамических и молекулярно-кинетических механизмов, протекающих в сверхзвуковых разреженных газовых потоках в условиях развитой конденсации при взаимодействии с диагностическим пучком свободных электронов.

В отзыве на автореферат д.ф.-м.н. **Миронова С.Г.**, профессора, главного научного сотрудника лаборатории Физических проблем управления газодинамическими течениями ФГБУН Института теоретической и прикладной механики СО РАН, содержится три замечания: «1. В тексте автореферата, посвященном экспериментальной технике, ничего не сказано о масс-спектрометрии кластированного пучка, как наиболее важного метода диагностики. 2. Непонятно, что обозначают верхние индексы в выражении (4).

3. Возможно, более доказательным для результатов по проникновению фонового газа в струю и рассеянию кластеров на фоновом газе было бы дополнительное использование фоновых газов с существенно отличающимися от  $\text{Ar}$  массами, например,  $\text{He}$  и  $\text{Kr}$ ».

В отзыве на автореферат к.т.н. **Павлова М.В.**, доцента кафедры теплогазоснабжения Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Вологодский государственный университет», содержится два замечания: «1. В диссертационной работе недостаточно подробно обоснована выборка режимов истечения и параметров экспериментальной среды, что затрудняет воспроизводимость результатов и проведение их корректной интерпретации в рамках других экспериментальных установок. Отсутствие систематического анализа чувствительности результатов к изменению ключевых переменных (температуры торможения, состава фонового газа, степени разрежения и др.) снижает универсальность полученных выводов. 2. Согласно ГОСТ Р 7.0.11-2011, в заключении диссертационной работы, помимо итогов выполненного исследования и рекомендаций, также должны быть приведены перспективы дальнейшей разработки темы».

В отзыве на автореферат к.ф.-м.н. **Ярыгина И.В.**, старшего научного сотрудника Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института теплофизики им. С.С. Кутателадзе Сибирского отделения Российской академии наук, содержится два замечания: «1. Поскольку режим течения в недорасширенных струях, включая сжатый слой и ядро струи, определяется числом Рейнольдса  $\text{Re}_L$ , желательно было бы их привести в автореферате для всех условий проведенных экспериментов. Тем более это важно для условий прохождения кластеров через сжатый слой и диффузии газа фонового пространства в ядро струи. 2. Не везде приведена величина погрешности проведенных экспериментов».

В отзыве на автореферат к.т.н. **Левашова В.Ю.**, зав.лаб. «Кинетических процессов в газах» НИИ механики МГУ, содержится пять замечаний: «1. Как следует из текста автореферата, одним из методов диагностики является метод электронно-пучковой диагностики. Представляется, что было бы полезным указать параметры электронного пучка. 2. На странице 8 автореферата отмечается: «Валидация метода осуществлена путем сопоставления экспериментальных данных, полученных в условиях пренебрежимо малой конденсации». Из текста автореферата не ясно, что значит «пренебрежимо малой»? При каких условиях реализуются такие режимы? 3. При рассмотрении вопроса о послесвечении «кластерного следа», отмечается, что при малых значениях давления торможения послесвечение не наблюдается. Представляется, что по данным рисунка 3 такие выводы сделать затруднительно. 4. При проведении исследований рассматривался



процесс истечения аргона в атмосферу различного состава. Процентное содержание примеси в тексте автореферата не указано. 5. В подписи к рисунку 5 даются ссылки на рисунок (а) и (б), но таких рисунков в тексте нет».

В отзыве на автореферат д.х.н. **Шмакова А.Г.**, заведующего лабораторией кинетики процессов горения Федерального государственного бюджетного учреждения науки Институт химической кинетики и горения им. В.В. Воеводского Сибирского отделения Российской академии наук (ИХКГ СО РАН), содержится два замечания: «1. На некоторых фотографиях отсутствует масштабная шкала, что затрудняет восприятие материала. 2. На приведенных в автореферате рисунках 4 и 7 с экспериментальными данными отсутствует информация о погрешности значений измеренных величин».

В отзыве на автореферат д.ф.-м.н. **Шарафутдинова Р.Г.**, главного научного сотрудника Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института теплофизики им. С.С. Кутателадзе Сибирского отделения Российской академии наук, содержится три замечания: «1. Очень интересен качественный анализ механизмов появления послесвечения. Он был бы более интересен, если бы автор осуществил сравнительный анализ с данными по флюоресценции в струях конденсирующегося газа, полученными в ИТ СО РАН и НГУ. 2. Боковые слои в свободных струях состоят из боковых ударных волн, сжатого слоя и слоя смешения с окружающим газом. В разреженном газе все названные слои сливаются, и в определенных условиях (например, при нагреве газа) не будет роста плотности в сжатом слое. Поэтому надо более четко определить, что такое поперечный размер струи. 3. Использование терминов «валидация» и «метризация» лучше не делать, т.к. они требуют дополнительных разъяснений».

В отзыве на автореферат к.ф.-м.н. **Крылова А.Н.**, главного научного сотрудника ПАО «РКК «Энергия», замечаний нет.

Выбор официальных оппонентов и ведущей организации обосновывается их высокой квалификацией в областях науки, непосредственно связанных с темой диссертации. Ведущая организация является одним из лидеров в области моделирования процессов истечения разреженных газов, в ней работают специалисты, которые могут дать полноценную экспертную оценку научной и практической значимости результатов работы (д.ф.-м.н. Кустова Е.В., д.ф.-м.н. Лашков В.А., к.ф.-м.н. Шакурова Л.А. и др.). Официальные оппоненты д.ф.-м.н. Быков Н.Ю. и д.ф.-м.н. Рудяк В.Я. являются признанными специалистами в области теплофизики и механики газа и жидкости, в частности, в вопросах исследования разреженных газовых потоков (в том числе в условиях развитой конденсации), что подтверждается наличием у них публикаций ряда научных работ в данной области исследований, в том числе соответствующих тематике

диссертационного исследования соискателя, и опубликованных в рецензируемых научных изданиях.

Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований предложена эмпирическая поправка, учитывающая процесс конденсации, к существующей модели, связывающей начальные параметры истечения с поперечным размером формируемой струи; экспериментально показано, что взаимодействие кластеров с фоновым газом приводит к фрагментации кластеров и подавлению проникания частиц фонового газа в центральную область истекающей струи; впервые зарегистрировано явление послесвечения вторичного течения за пределами сжатого слоя, инициированного кластерами, прошедшими висячий скачок, при возбуждении частиц высоковольтным пучком электронов; на основе анализа спектрального состава послесвечения установлена роль кластеров в наблюдаемом излучении в видимом диапазоне спектра.

Теоретическая значимость работы обоснована тем, что представленные в работе результаты по уширению сверхзвуковой недорасширенной струи служат основой для развития существующих численных методов моделирования процессов истечения газа в условиях конденсации. Полученные результаты по селекции излучательных процессов в струях с развитой конденсацией и о временной задержке во внутрикластерном энергообмене могут быть полезны при разработке новых источников излучения. Представленные в диссертационной работе данные могут найти применение в исследовательских институтах, занимающихся изучением Ван-дер-Ваальсовых кластеров и их физико-химических свойств (ФГБУН Институт теплофизики им. С.С. Кутателадзе Сибирского отделения Российской академии наук, ФГБУН Институт теоретической и прикладной механики им. С.А. Христиановича Сибирского отделения Российской академии наук, ФГБОУ ВО «Московский государственный университет имени М.В.Ломоносова», ФГАОУ ВО «Санкт-Петербургский политехнический государственный университет имени Петра Великого» и др.).

Значение полученных соискателем результатов исследования для практики подтверждается тем, что полученные в работе данные позволяют составить рекомендации по эксплуатации малогабаритных лабораторных установок для экспериментального моделирования истечения продуктов сгорания из сопел КА, ввести и табулировать поправки к применяемым диагностическим методам, что может оказаться ценным, например, для организаций космической промышленности (ПАО «Ракетно-космическая корпорация «Энергия» им. С.П. Королёва», АО «Центральный научно-исследовательский институт машиностроения», Государственная корпорация по космической деятельности «Роскосмос» и др.). Проведенное комплексное исследование позволяет сделать



существенный шаг в изучении физических процессов с участием Ван-дер-Ваальсовых кластеров, что углубит и расширит области их прикладного применения. Результаты проведенного исследования также целесообразно рекомендовать для студентов вузов и аспирантов в учебном процессе при подготовке специалистов соответствующего профиля.

Оценка достоверности результатов исследования выявила, что достоверность полученных результатов обеспечивается использованием современных измерительных методик, проведением калибровочных работ, анализом погрешностей проведенных измерений, воспроизводимостью результатов и их сравнением с опубликованными данными других исследователей, полученными различными измерительными методами и численными расчетами.

Основные результаты, включенные в диссертацию и выносимые на защиту, получены соискателем лично. Личный вклад соискателя состоял в постановке и проведении эксперимента, обработке данных, анализе и интерпретации результатов. Автор принимал участие в подготовке докладов для конференций и написании статей для публикации в высокорейтинговых журналах. Цели исследований и постановка задач были сформулированы соискателем совместно с руководителем диссертационной работы к.ф.-м.н. Зарвиным А.Е.

Диссертационным советом 24.1.129.01 сделан вывод о том, что диссертация Дубровина Кирилла Алексеевича представляет собой научно-квалификационную работу, в которой решена научная задача экспериментального исследования влияния конденсации на газодинамические и молекулярно-кинетические процессы, протекающие в сверхзвуковой недорасширенной разреженной струи аргона, имеющая существенное значение для развития научных основ теории течения разреженных сверхзвуковых потоков и их взаимодействия с диагностическим пучком свободных электронов высокой энергии. Представленная диссертационная работа соответствует критериям п. 9 Положения о присуждении ученых степеней, утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации № 842 от 24.09.2013.

На заседании 04 июня 2025 года диссертационный совет 24.1.129.01 принял решение присудить Дубровину Кириллу Алексеевичу ученую степень кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.14. Теплофизика и теоретическая теплотехника.

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 23 человек, из них 10 докторов наук по профилю специальности 1.3.14. Теплофизика и теоретическая теплотехника, участвовавших в заседании, из 26 человек, входящих в

состав совета, проголосовали за присуждение ученой степени – 23, против – 0,  
недействительных бюллетеней – 0.

04 июня 2025 года

Председатель  
диссертационного совета  
академик РАН



С.В. Алексеенко

Ученый секретарь  
диссертационного совета  
профессор РАН

В.В. Терехов